

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 972 831**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00	(2006.01) H02H 9/00	(2006.01)
H02P 9/02	(2006.01) F03D 1/00	(2006.01)
H02P 9/30	(2006.01)	
H02P 25/022	(2006.01)	
H02P 29/024	(2006.01)	
H02P 29/032	(2006.01)	
H02P 29/50	(2006.01)	
F03D 9/25	(2006.01)	
H02H 9/02	(2006.01)	
H01F 6/00	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2020** **E 20189008 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2023** **EP 3772173**

54 Título: **Turbina eólica**

30 Prioridad:

01.08.2019 US 201916529118

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.06.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**XU, YUNTAO y
TORREY, DAVID ALLAN**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 972 831 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Turbina eólica

5 **Campo**

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a máquinas de baja impedancia, tales como máquinas superconductoras y, más en particular, a sistemas y procedimientos para excitar máquinas de baja impedancia usando un convertidor de fuente de corriente.

10 **Antecedentes**

[0002] En general, las máquinas superconductoras, tales como generadores superconductores, incluyen al menos una bobina superconductora que genera un campo magnético estático o rotatorio y al menos una bobina de inducido que también genera un campo magnético estático o rotatorio que interactúa con el campo de la bobina superconductora. Además, los generadores superconductores se fabrican construyendo las bobinas de campo del generador (que típicamente transportan una corriente continua) de un material superconductor ("superconductor") en lugar del material de cobre habitual. Los superconductores son típicamente de peso más ligero y de tamaño más pequeño (por ejemplo, en relación con la capacidad de transporte de corriente) que los conductores tradicionales tales como el cobre, y también son más eficaces para conducir la corriente (en particular a menores frecuencias). Por tanto, el uso de superconductores en aplicaciones de potencia, tales como generadores de turbinas eólicas, proporciona beneficios tales como un rendimiento más eficaz, un menor peso del generador, una operación de accionamiento directo sin multiplicadora y menores costes de fabricación e instalación. Dichos beneficios son en particular útiles para aplicaciones de turbinas eólicas marinas.

[0003] Los cables superconductores (SC) admiten densidades de corriente muy altas sin disipación alguna, lo que facilita devanados de campo ("*field winding*") que crean campos magnéticos muy altos. Los cables SC típicamente solo permanecen en estado SC si su exposición a campos de CA se mantiene al mínimo. Esto hace que los cables SC sean apropiados solo para devanados de campo que reciben corriente continua. Los devanados de inducido ("*armature windings*") se fabrican con un conductor convencional, típicamente cobre, pero podría ser aluminio o algún otro material con buena conductividad. Los cables SC pueden funcionar en campos magnéticos del orden de 7 T. Debido a que la densidad de par de torsión está ligada a la intensidad de campo, las máquinas eléctricas con bobinas de campo SC ofrecen una densidad de par de torsión sustancialmente mayor que las convencionales. En aplicaciones donde es importante minimizar el tamaño y el peso del generador, el uso de devanados de campo SC puede ser sumamente valioso. Las turbinas eólicas marinas son una aplicación de este tipo, puesto que la masa en la parte superior de la torre tiene una influencia significativa en el coste de la torre y de la cimentación.

[0004] Los altos campos magnéticos producidos por los devanados de campo SC son más que suficientes para saturar los materiales magnéticos típicamente usados en las máquinas eléctricas para conducir el flujo magnético al entrehierro donde se produce el par de torsión. En consecuencia, el devanado de inducido de una máquina superconductora no se beneficia del uso de materiales magnéticos. Como resultado, el devanado de inducido tiene una impedancia muy baja, típicamente un orden de magnitud menor que el devanado de inducido de una máquina convencional. Algunas máquinas de imanes permanentes también usan topologías magnéticas que dan como resultado una impedancia muy baja.

[0005] La excitación electrónica de la mayoría de las máquinas eléctricas se logra usando un convertidor electrónico que es conocido como convertidor de fuente de tensión, como se muestra en la FIG. 1. Más específicamente, la FIG. 1 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de la estructura de un convertidor de fuente de tensión 1 y su interfaz con una máquina eléctrica trifásica (no mostrada). Como se muestra, los tres cables 3 de la izquierda van a la máquina eléctrica (no mostrada). Además, como se muestra, los inductores 4 pueden ser la inductancia de fase de la máquina eléctrica o pueden ser inductores de filtro separados. Los dos cables 5 de la derecha se conectan a una fuente de alimentación de CC (no se muestra). Dependiendo del modo de funcionamiento del sistema, puede ser necesario que el convertidor de fuente de tensión 1 acepte potencia.

[0006] Como tal, el convertidor de fuente de tensión 1 incluye una fuente de tensión que está conectada a la máquina eléctrica a través de una matriz de conmutadores 6. El funcionamiento secuencial de los conmutadores 6 da como resultado el flujo de corrientes alternas dentro del devanado de inducido de la máquina eléctrica. El flujo de corriente se usa para crear un par de torsión electromagnético. Dentro del convertidor de fuente de tensión 1, un objetivo es regular las corrientes en los devanados de fase para controlar el par de torsión electromagnético. En una máquina eléctrica convencional, la impedancia de la máquina eléctrica es suficientemente grande como para que la máquina eléctrica se comporte como un filtro de paso bajo, dando como resultado, de este modo, corrientes de fase filtradas a pesar de que se aplican tensiones conmutadas a los devanados de fase.

[0007] Sin embargo, en una máquina eléctrica con baja impedancia, tal como una máquina con un devanado de campo superconductor, la baja impedancia implica que las corrientes de fase tendrán un rizado muy alto a menos que se inserte algún tipo de filtro de paso bajo entre el convertidor de fuente de tensión y la máquina. Sin embargo, el filtro

de paso bajo introduce dificultades de pérdida y control para el funcionamiento eficaz de la máquina eléctrica. Además, se pueden producir corrientes de fallo muy altas debido a que hay muy poca impedancia para limitar la corriente. Además, la regulación de las corrientes de fase en condiciones normales de funcionamiento cuando se usa un convertidor de fuente de tensión es difícil, nuevamente porque hay tan poca impedancia que se produce un gran rizado de corriente.

[0008] Por tanto, la industria necesita un sistema y un procedimiento mejorados para excitar máquinas de baja impedancia. En consecuencia, la presente divulgación está dirigida a un sistema y procedimiento que utiliza un convertidor de fuente de corriente, en lugar de un convertidor de fuente de tensión, para resolver muchos de los problemas operativos y de control asociados con el control de las corrientes de fase en una máquina eléctrica de baja impedancia.

[0009] El documento CN201696223U se refiere a un convertidor de energía eólica de tipo fuente de corriente de almacenamiento de energía con imán superconductor integrado de lado de CC. Un ventilador en el convertidor está conectado con un eje principal de un generador de electricidad a través de una multiplicadora, el extremo de salida del generador de electricidad está conectado con el extremo de entrada de una pluralidad de convertidores de frecuencia de tipo fuente de corriente de lado del ventilador conectados mutuamente y en paralelo, los extremos de salida de los convertidores de tipo fuente de corriente de lado del ventilador están conectados con un inductor igualador de corriente continua de lado del ventilador, los extremos de entrada de los convertidores de frecuencia de tipo fuente de corriente de lado de la red eléctrica están conectados con un inductor igualador de corriente continua de lado de la red eléctrica, un cuerpo magnético superconductor está conectado entre el inductor igualador de corriente continua de lado del ventilador y el inductor igualador de corriente continua de lado de la red eléctrica, y lleva a cabo el intercambio de energía con una red eléctrica a través de los convertidores de frecuencia de tipo fuente de corriente de lado de la red eléctrica, los extremos de salida de una pluralidad de convertidores de frecuencia de tipo fuente de corriente de lado de la red eléctrica conectados mutuamente y en paralelo, un inductor de red de acceso, un transformador de red de acceso y la red eléctrica están conectados secuencialmente en serie, un condensador de filtro de onda de lado de la red eléctrica está conectado en los extremos de salida de los convertidores de frecuencia de tipo de fuente de corriente de lado de la red eléctrica, y un condensador de filtro de onda de lado del ventilador está conectado en los extremos de entrada de los convertidores de frecuencia de tipo fuente de corriente de lado de la red eléctrica.

[0010] El documento EP2448100A2 se refiere a sistemas de conversión de potencia y choques multifásicos integrados que proporcionan altas proporciones de inductancia de choque de modo común con respecto a modo diferencial con conformaciones circulares y triangulares para filtrado diferencial concurrente y bloqueo de tensión de modo común en accionamientos por motor y otras aplicaciones de conversión de potencia.

Breve descripción

[0011] La invención se define en la reivindicación de aparato independiente 1. Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

[0012] En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a una turbina eólica. La turbina eólica incluye una torre, una góndola montada encima de la torre, un rotor acoplado a la góndola y que tiene un buje rotatorio con al menos una pala de rotor fijada al mismo, y un generador superconductor acoplado al rotor. El generador incluye al menos un conjunto de devanado de inducido que tiene una pluralidad de bobinas monofásicas. La turbina eólica también incluye un conjunto de convertidor de fuente de corriente acoplado eléctricamente a un inducido del generador. El conjunto de convertidor de fuente de corriente incluye al menos un convertidor de fuente de corriente que tiene un rectificador de fuente de corriente acoplado a un inversor de fuente de corriente por medio de un enlace de CC y al menos un condensador abarcando la pluralidad de bobinas de inducido monofásicas. El/los condensador(es) del conjunto de convertidor de fuente de corriente está(n) configurado(s) para absorber componentes de alta frecuencia de los pulsos de corriente generados por el convertidor de fuente de corriente para minimizar el rizado de corriente en una corriente aplicada a la pluralidad de bobinas monofásicas.

[0013] En un modo de realización, el generador de baja impedancia es un generador superconductor. En otro modo de realización, el conjunto de convertidor de fuente de corriente puede incluir una pluralidad de condensadores con al menos uno de la pluralidad de condensadores a través de cada una de la pluralidad de bobinas monofásicas.

[0014] En otros modos de realización, el enlace de CC puede incluir al menos un inductor de enlace de CC. En dichos modos de realización, la corriente dentro del enlace de CC se puede controlar por la tensión a través del/de los inductor(es) de enlace de CC. En otro modo de realización, el inductor de enlace de CC puede ser una fuente de corriente fija (por ejemplo, que tiene una impedancia interna de 100 veces más que una impedancia de carga).

[0015] En modos de realización adicionales, el rectificador de fuente de corriente y el inversor de fuente de corriente pueden incluir cada uno una pluralidad de conmutadores. En otro modo de realización, el conjunto de convertidor de fuente de corriente puede incluir un circuito en corto.

[0016] Todavía en otros modos de realización, la turbina eólica puede incluir un controlador para controlar el funcionamiento del generador de baja impedancia y el conjunto de convertidor de fuente de corriente. Como tal, en determinados modos de realización, tras un evento de cortocircuito en el conjunto de convertidor de fuente de corriente, el controlador está configurado para activar el circuito en corto para proporcionar una trayectoria para la corriente desde el enlace de CC y para desactivar la pluralidad de conmutadores en el conjunto de convertidor de fuente de corriente, bloqueando, de este modo, la corriente entre el generador y el enlace de CC.

[0017] En varios modos de realización, el conjunto de convertidor de fuente de corriente puede incluir una pluralidad de convertidores de fuente de corriente acoplados eléctricamente al generador de baja impedancia y a una red eléctrica. En otro modo de realización, la pluralidad de convertidores de fuente de corriente se puede conectar en paralelo. Además, cada uno de la pluralidad de convertidores de fuente de corriente se puede configurar para procesar una porción de la potencia total de la turbina eólica.

[0018] Aún en otro modo de realización, la turbina eólica puede incluir un mecanismo de equilibrio de potencia activa configurado para garantizar que la potencia total se comparta uniformemente entre los convertidores de fuente de corriente.

[0019] En modos de realización particulares, la turbina eólica puede ser una turbina eólica marina. De forma alternativa, la turbina eólica puede ser una turbina eólica terrestre.

[0020] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica. La turbina eólica tiene un generador de baja impedancia con una pluralidad de bobinas de inducido monofásicas y un conjunto de convertidor de fuente de corriente acoplado eléctricamente al inducido del generador. El conjunto de convertidor de fuente de corriente tiene al menos un convertidor de fuente de corriente. El procedimiento incluye monitorizar la turbina eólica para detectar fallos. En respuesta a la detección de un fallo de cortocircuito en el conjunto de convertidor de fuente de corriente, el procedimiento incluye activar, por medio de un controlador, un circuito en corto del conjunto de convertidor de fuente de corriente para proporcionar una trayectoria de corriente para la corriente desde un inductor de enlace de CC de un enlace de CC del conjunto de convertidor de fuente de corriente y desactivar, por medio del controlador, una pluralidad de conmutadores en el conjunto de convertidor de fuente de corriente para bloquear la trayectoria de corriente entre el generador y el inductor de enlace de CC.

[0021] Aún en otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema de conversión de energía. El sistema de conversión de energía incluye una máquina eléctrica de baja impedancia y un conjunto de convertidor de fuente de corriente acoplado eléctricamente a la máquina eléctrica. El conjunto de convertidor de fuente de corriente incluye al menos un convertidor de fuente de corriente que tiene un rectificador de fuente de corriente acoplado a un inversor de fuente de corriente por medio de un enlace de CC y al menos un condensador. El/los condensador(es) del conjunto de convertidor de fuente de corriente está(n) configurado(s) para absorber componentes de alta frecuencia de los pulsos de corriente generados por el convertidor de fuente de corriente para minimizar el rizado de corriente en una corriente aplicada a la máquina eléctrica.

[0022] En un modo de realización, la máquina eléctrica de baja impedancia puede incluir un generador o un motor. Se debe entender además que el sistema de conversión de energía puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos y/o etapas adicionales descritos en el presente documento.

[0023] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0024] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la FIG. 1 ilustra un diagrama esquemático de un convertidor de fuente de tensión de acuerdo con la construcción convencional;

la FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica con un generador superconductor de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra una vista en sección transversal de un modo de realización de un generador superconductor de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático parcial de un modo de realización de un convertidor de fuente de corriente de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de conversión de energía de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular un sistema que tiene una pluralidad de convertidores de fuente de corriente acoplados eléctricamente entre un generador superconductor y la red eléctrica;

la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de una disposición de conmutación para un inversor de fuente de corriente de un convertidor de fuente de corriente de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 7 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de una disposición de conmutador para un rectificador de fuente de corriente de un convertidor de fuente de corriente de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 8 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un sistema de conversión de energía de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular un sistema que tiene una pluralidad de convertidores de fuente de corriente acoplados eléctricamente entre un generador superconductor y la red eléctrica;

la FIG. 9 ilustra un diagrama esquemático de aún otro modo de realización de un sistema de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular una configuración de sistema que tiene un convertidor de fuente de corriente de dos canales para un sistema de generación de energía eólica basado en un generador superconductor;

la FIG. 10 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de control para un rectificador de fuente de corriente de un convertidor de fuente de corriente de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 11 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de control de un inversor de fuente de corriente de un convertidor de fuente de corriente de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 12 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 13 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador que se puede usar para controlar la turbina eólica y/o el sistema descrito en el presente documento de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada

[0025] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, se pueden usar rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones como vengan dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0026] La presente divulgación está dirigida a un sistema de conversión de energía, tal como una turbina eólica, que incluye una máquina eléctrica de baja impedancia, tal como un generador superconductor. Para fines de explicación, el presente sistema se describe en el presente documento con referencia a un generador superconductor en general y, más en particular, a un generador superconductor de turbina eólica, pero no se limita a generadores superconductores. Más específicamente, la presente divulgación proporciona soluciones a diversas dificultades que enfrenta un convertidor electrónico de potencia mientras interactúa con una máquina eléctrica de baja impedancia en general, y con un generador superconductor en particular. Una dificultad es proporcionar corriente de alta fidelidad a la máquina y mantener el contenido de rizado lo suficientemente bajo de modo que el funcionamiento de la máquina no se vea afectado negativamente. Otra dificultad es bloquear la trayectoria de corriente en caso de que se produzca un cortocircuito interno en el convertidor. La utilización de uno o más convertidores de fuente de corriente como se describe en el presente documento de acuerdo con la presente divulgación resuelve, al menos, las dificultades mencionadas anteriormente.

[0027] En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de un sistema de generación de potencia de turbina eólica 10. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye, en general, una torre 12 que se extiende desde una superficie de apoyo 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 (se muestran tres) acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. Cada pala de rotor 22 puede estar espaciada alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera desde el viento para convertirse en energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Para este propósito, el rotor 18 se acopla a un generador 24 por medio de un eje 26. Para los propósitos de la presente divulgación, el generador 24 es un generador superconductor de accionamiento directo.

[0028] La presente invención engloba un sistema de generación de potencia de turbina eólica 10, como se describe anteriormente, en el que el generador 24 está configurado como un generador superconductor trifásico como se

expone a continuación. La presente invención también engloba diversas metodologías de funcionamiento de un generador superconductor, en particular un generador superconductor de turbina eólica de acuerdo con aspectos de procedimiento expuestos a continuación.

[0029] En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra una vista en sección transversal de un modo de realización del generador superconductor 24 de la FIG. 1. Aunque en el presente documento se ilustra y describe el generador superconductor 24, se debe entender que los rasgos característicos descritos en el presente documento se pueden aplicar a cualquier máquina superconductora y no se limitan a los sistemas de potencia de turbinas eólicas.

[0030] Como se representa, el generador 24 incluye un componente concéntrico exterior 104, que puede ser el estator, y un componente concéntrico interior 106, que puede ser el rotor (por ejemplo, en una configuración de rotor interno). Sin embargo, en otros modos de realización, el componente exterior 104 puede ser un rotor del generador 24, y el componente interior 106 puede ser un estator del generador 24 (por ejemplo, en una configuración de rotor externo). Además, como se muestra, se puede definir un espacio (o "entrehierro") 105 entre el componente exterior 104 y el componente interior 106 para permitir el movimiento (por ejemplo, rotación) entre ellos.

[0031] Además, como se muestra, el generador 24 también puede incluir al menos un conjunto de devanado. Por ejemplo, como se muestra, el/los conjunto(s) de devanado puede(n) incluir un primer conjunto de uno o más conductores transportadores de corriente ("bobinas") 108 unidos al componente exterior 104 y un segundo conjunto de uno o más conductores transportadores de corriente ("bobinas") 110 unidos al componente interior 106. Los conductores de campo tienen propiedades superconductoras a temperatura, campo magnético y densidad de corriente suficientemente bajos. En consecuencia, los conductores de campo funcionan dentro de una o más zonas de baja temperatura. Durante el funcionamiento del generador 24, estas bobinas 108, 110 están en comunicación electromagnética. Más específicamente, en un modo de realización, las bobinas 108 pueden ser bobinas de inducido y las bobinas 110 pueden ser bobinas de campo del generador 24. En otros modos de realización, las bobinas 108 pueden ser bobinas de campo y las bobinas 110 pueden ser bobinas de inducido del generador 24.

[0032] Las bobinas de campo transportan corriente de excitación, en las que la corriente que fluye a través de ellas produce un campo magnético a través de la bobina de campo, y la bobina de inducido está conectada a la salida del generador 24 (por ejemplo, por medio de terminales de salida) para conducir una corriente de salida y una salida de potencia eléctrica. Aunque se representan varias bobinas 108, 110, puede haber más o menos bobinas 108, 110 y/o devanados de las mismas alrededor del componente exterior 106 y el componente interior 108 en diversos modos de realización, por ejemplo, para configurar el número de polos del generador 24 y, de este modo, la frecuencia de generación y/u otras características operativas del generador 24.

[0033] El campo magnético generado por la bobina de inducido se debe a la fuerza magnetomotriz (MMF) creada por la corriente que fluye a través del devanado de inducido. La MMF tiene armónicos tanto espaciales como temporales asociados con ella debido a la discretización de las bobinas, la saturación magnética dentro de las estructuras de acero y el esquema de modulación de ancho de pulso empleado por un inversor de conmutación para conducir la forma de onda de corriente a una conformación deseada.

[0034] Las bobinas de campo, por ejemplo, las bobinas 110, se pueden construir de un material superconductor de baja temperatura, tal como niobio-titanio (NbTi), niobio-estaño (Nb₃Sn) o diboruro de magnesio (MgB₂), o un material superconductor de alta temperatura, tal como YBCO o ReBCO. Típicamente, las bobinas de inducido 108 están construidas de cobre. Sin embargo, en determinados modos de realización, las bobinas de inducido 108 también se pueden construir de un material superconductor, tal como NbTi, Nb₃Sn o MgB₂. En determinados modos de realización, el material superconductor también puede ser un superconductor de alta temperatura, tal como YBCO o ReBCO.

[0035] En referencia ahora a las FIGS. 4, 5 y 8, se ilustran diversas vistas de múltiples modos de realización de un sistema de conversión de energía 100 que tiene un conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 de acuerdo con la presente divulgación. Más específicamente, como se muestra, el sistema 100 también puede incluir al menos un conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 acoplado eléctricamente al inducido del generador superconductor/de baja impedancia 24 y un controlador 130 para controlar el funcionamiento del generador 24 y el conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 (así como cualquier otro componente del sistema 100). Además, como se muestra en particular en las FIGS. 5 y 8, el conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 puede incluir una pluralidad de convertidores de fuente de corriente modulares 113, teniendo cada uno un rectificador de fuente de corriente 114 acoplado a un inversor de fuente de corriente 116 por medio de un enlace de CC 118. Más en particular, como se muestra en las FIGS. 4, 6 y 7, el rectificador de fuente de corriente 114 y el inversor de fuente de corriente 116 pueden incluir cada uno una pluralidad de conmutadores 124, 126.

[0036] Por ejemplo, la FIG. 6 ilustra conmutadores 124 de ejemplo que se pueden emplear por el inversor de fuente de corriente 116. La FIG. 7 ilustra conmutadores 126 de ejemplo que se pueden emplear por el rectificador de fuente de corriente 114. En consecuencia, como se muestra, uno o más tiristores conmutados por puerta integrada (IGCT) simétricos pueden ser una implementación. En otro modo de realización, se pueden usar uno o más IGCT asimétricos con un diodo conectado en serie para capacidad de bloqueo inverso. Aún en otro modo de realización, se puede usar un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) con un diodo conectado en serie. Todavía en otro modo de realización,

se pueden usar además uno o más MOSFET de SiC con un diodo conectado en serie, lo que puede proporcionar un rendimiento de conmutación sólido, una mayor frecuencia de conmutación y un diseño de convertidor compacto.

[0037] Por lo tanto, se debe entender que se puede usar cualquier combinación adecuada de conmutadores en el/los convertidor(es) de fuente de corriente 113 descrito(s) en el presente documento.

[0038] Además, como se muestra en las FIGS. 4, 5 y 8, el enlace de CC 118 puede incluir al menos un inductor de enlace de CC 122. Como tal, en un modo de realización, la corriente dentro del enlace de CC 118 se puede controlar por la tensión a través del/de los inductor(es) de enlace de CC 122. En otras palabras, el convertidor de fuente de corriente 113 puede funcionar con una corriente de enlace de CC fija y puede proporcionar corriente conmutada a la salida.

[0039] Además, en caso de un cortocircuito interno al conjunto de convertidor de fuente de corriente 112, el inductor de filtro de CC 122 está configurado para limitar el aumento de la corriente de fallo. De forma más importante, los terminales de CA del convertidor se pueden aislar fácilmente de la barra colectora de CC interna, bloqueando, por tanto, la trayectoria de corriente de fallo. Esta es una ventaja importante en comparación con el convertidor de fuente de tensión (FIG. 1), donde el bloqueo de la corriente de fallo es más complejo. Para el generador superconductor 24, la alta corriente de fallo tiene un impacto significativo en la integridad mecánica de la máquina, y es necesario un convertidor electrónico de potencia (tal como el conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 descrito en el presente documento) con una respuesta a fallo de cortocircuito fiable.

[0040] En otros modos de realización, como se muestra en la FIG. 5, el conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 también puede incluir al menos un condensador 120 a través de la pluralidad de bobinas de inducido monofásicas 108. Más específicamente, como se muestra en las FIGS. 4 y 8, el conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 puede incluir una pluralidad de condensadores 120 con al menos uno de la pluralidad de condensadores 120 a través de cada una de la pluralidad de bobinas de inducido monofásicas 108. Por tanto, en un modo de realización, el/los condensador(es) 120 puede(n) ser condensador(es) trifásico(s). Por tanto, en determinados modos de realización, los condensadores 120 del conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 están configurados para absorber componentes de alta frecuencia de pulsos de corriente generados por el/los convertidor(es) de fuente de corriente 113 para minimizar el rizado de corriente en una corriente aplicada a la pluralidad de bobinas de inducido monofásicas 108.

[0041] Además, en modos de realización particulares, los condensadores 120 en los terminales de salida de CA del convertidor están configurados para absorber los componentes de corriente de alta frecuencia, suministrando al generador superconductor 24 y a la red de potencia eléctrica 132 corrientes que tienen baja distorsión armónica. Como tal, se evita la forma de onda con dv/dt alto (típica del convertidor de fuente de tensión).

[0042] En consecuencia, el conjunto de convertidor de fuente de corriente 112 descrito en el presente documento proporciona formas de onda de alta fidelidad creando corriente conmutada en lugar de formas de onda de tensión conmutada. Los condensadores 120 en el lado de CA del convertidor usados para ayudar a la conmutación también filtran los armónicos de corriente de alta frecuencia, lo que da como resultado una corriente de baja distorsión que fluye hacia el devanado de inducido del generador superconductor 108. Además, los condensadores 120 están configurados para limitar el dv/dt aplicado a los terminales de máquina. La inductancia del cable se suma a la inductancia de la máquina, por lo tanto, longitudes de cable largas entre el convertidor 113 y el generador superconductor 24 tienen un impacto de mínimo a nulo en su funcionamiento.

[0043] En referencia, en particular, a la FIGS. 5 y 8, en modos de realización particulares, el sistema 100 puede incluir una pluralidad de convertidores de fuente de corriente 113 acoplados eléctricamente al generador 24 y a la red eléctrica 132. En dichos modos de realización, como se muestra, la pluralidad de convertidores de fuente de corriente 113 se pueden conectar en paralelo. Para aplicaciones de generadores superconductores de alta potencia, el modo de realización ilustrado en la FIG. 5 puede ser adecuado para conectar el generador superconductor 24 con la red de suministro. Por tanto, en dichos modos de realización, la conexión en paralelo de los convertidores de fuente de corriente modulares 113 puede ser una conexión doble del convertidor de fuente de tensión de puente H en cascada de los sistemas convencionales. Sin embargo, en comparación con los puentes H en cascada, la característica de rizado de potencia de doble frecuencia del convertidor de fuente de tensión de puente H no existe en los convertidores de fuente de corriente trifásicos. Por lo tanto, la conexión en paralelo de convertidores de fuente de corriente modulares 113 permite una fácil implementación de *hardware* y un control sencillo.

[0044] Más específicamente, puede ser ventajoso que el generador superconductor de alta potencia 24 tenga múltiples conjuntos de devanados de inducido. Una disposición de devanado de este tipo puede ayudar a mitigar el impacto y la gravedad de los fallos de cortocircuito, y se reduce la probabilidad de un cortocircuito en todo el generador. Los múltiples conjuntos de devanados de inducido pueden estar aislados eléctricamente y se pueden conectar de forma práctica con los convertidores de fuente de corriente modulares 113.

[0045] El generador superconductor 24 se puede caracterizar por una impedancia por unidad muy baja. Sin embargo, esto se debe en gran medida al contexto de aplicación de potencia eólica de baja velocidad y accionamiento

directo. La inductancia de máquina en una unidad física típicamente es suficiente para un contenido de corriente de rizado bajo sin un requisito de capacitancia excesivo del condensador de filtro de CA 120. En el lado de red, se pueden aplicar patrones de conmutación intercalados a los inversores de fuente de corriente 116 de modo que se puedan generar formas de onda de corriente multinivel en los terminales de CA. Como resultado, la inductancia de fuga del transformador, típicamente alrededor de 0,1 pu, puede ser suficiente para satisfacer los requisitos de distorsión armónica total (THD) incluso con una frecuencia de conmutación baja.

[0046] Más específicamente, en determinados casos, la conexión en paralelo de múltiples convertidores de fuente de corriente trifásica 113 puede ser menos exigente en comparación con el puente H en cascada por múltiples motivos. Por ejemplo, en un caso, los múltiples convertidores de fuente de corriente 113 se pueden establecer desde la misma interfaz de CA sin necesidad de aislamiento. Además, la característica de rizado de potencia de doble frecuencia del convertidor de fuente de tensión de puente H no existe en los convertidores de fuente de corriente trifásicos 113. Por lo tanto, la conexión en paralelo de convertidores de fuente de corriente modulares 113 permite una fácil implementación de *hardware* y un control sencillo.

[0047] Por tanto, para aplicaciones de alta potencia en particular, tales como generación de energía eólica, puede ser ventajoso adoptar un enfoque modular donde se implementen múltiples convertidores de fuente de corriente 113 de manera coordinada para lograr una alta capacidad de procesamiento de potencia, redundancia y fiabilidad potenciada, y ventajas operativas tales como conmutación intercalada para la minimización del rizado y filtrado reducido.

[0048] En consecuencia, las FIGS. 5 y 8 ilustran un convertidor de fuente de corriente de alta potencia compuesto por múltiples convertidores de fuente de corriente modulares 113. Por lo tanto, en un modo de realización, cada convertidor de fuente de corriente modular 113 procesa una porción de la potencia de máquina total y se puede implementar con conmutadores semiconductores de potencia disponibles sin necesidad de conexión en paralelo y/o en serie de un número excesivo de dispositivos. En dichos modos de realización, también se puede aplicar un mecanismo de equilibrio de potencia activa 148 para garantizar que la potencia se comparta uniformemente entre los convertidores de fuente de corriente modulares 113.

[0049] En referencia, en particular, a la FIG. 8, se ilustra otro modo de realización de un convertidor de fuente de corriente de múltiples niveles basado en convertidores de fuente de corriente modulares conectados en paralelo. En comparación con el modo de realización mostrado en la FIG. 5, sin embargo, el modo de realización de la FIG. 8 usa un transformador de modo común 146 dentro de cada enlace de CC 118 para limitar las corrientes circulantes entre los convertidores de fuente de corriente. A pesar del beneficio de la cancelación de rizado con conmutación intercalada así como de una topología más simple en el lado SCG, los transformadores de modo común 146 pueden ser de tamaño considerable.

[0050] En otro modo de realización, como se muestra en la FIG. 4, el sistema 100 también puede incluir un circuito en corto 128. Por tanto, en varios modos de realización, tras un evento de cortocircuito en el convertidor de fuente de corriente 113, el controlador 130 está configurado para activar el circuito en corto 128 para proporcionar una trayectoria para la corriente desde el enlace de CC 118, mientras también desactiva la pluralidad de conmutadores 124, 126 en el convertidor de fuente de corriente 113, bloqueando, de este modo, la corriente entre el generador 24 y el enlace de CC 118.

[0051] En referencia ahora a la FIG. 9, se ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización del sistema 100 de acuerdo con la presente divulgación. En particular, se proporciona una configuración de sistema que tiene un convertidor de fuente de corriente de dos canales para un sistema de generación de energía eólica basado en un generador superconductor. Como se muestra, el controlador procesa las señales del sensor y las consignas de supervisión, y proporciona las consignas de conmutación a los rectificadores de fuente de corriente 114 y a los inversores de fuente de corriente 116. Los rectificadores de fuente de corriente 114 se controlan individualmente con la misma estructura de control, mientras que los inversores de fuente de corriente 116 se controlan conjuntamente (como un todo) aumentados con potencia activa compartida y equilibrada. En consecuencia, el patrón de conmutación intercalado en el lado de la red puede dar como resultado que fluyan pulsos de corriente multinivel hacia el punto de conexión de CA del inversor de fuente de corriente, reduciendo significativamente el contenido de rizado y los requisitos de filtro. En el lado del generador, la flexibilidad de ajustar los patrones de conmutación de los múltiples rectificadores de fuente de corriente 114 se puede utilizar para objetivos tales como la minimización del campo armónico.

[0052] El conocimiento del diseño de controladores para convertidores de fuente de tensión se puede aplicar a los convertidores de fuente de corriente descritos en el presente documento reconociendo la dualidad entre los convertidores de fuente de tensión y los convertidores de fuente de corriente. Por ejemplo, en una fuente de alimentación ininterrumpible (UPS) de CA típica diseñado con un convertidor de fuente de tensión trifásico, la tensión de CA se regula usando una estructura de controlador anidado, donde el bucle externo actúa sobre el error de tensión de CA y produce la referencia de corriente del inductor de CA, y el bucle interno actúa sobre el error de corriente del inductor de CA para generar la consigna de modulación.

[0053] Para la presente divulgación, incluyendo el convertidor de fuente de corriente, se puede construir un controlador anidado similar. Por ejemplo, el bucle externo puede actuar sobre el error de corriente de línea para producir la consigna de tensión del condensador de CA, y el bucle interno puede producir la consigna de modulación para regular la tensión del condensador de CA. El controlador normalmente está diseñado en el marco síncrono y se usa la prealimentación para mejorar el rendimiento del controlador. Debido a la baja frecuencia de conmutación típica de aplicaciones de alta potencia, el retraso en el muestreo y el cálculo puede afectar negativamente al comportamiento del controlador y complicar el diseño del controlador. El ancho de banda de control limitado a menudo requiere rasgos característicos de control adicionales, tales como amortiguación activa, para lograr resultados satisfactorios. El retraso en el muestreo y el cálculo también se debe tener en cuenta al ajustar los parámetros de amortiguación activa.

[0054] En referencia ahora a las FIGS. 10 y 11, se ilustran diagramas esquemáticos de modos de realización de controladores para el rectificador de fuente de corriente 114 y el inversor de fuente de corriente 116 descritos en el presente documento, respectivamente. Como se muestra en la FIG. 10, el rectificador de fuente de corriente 114 puede ser responsable de regular las corrientes de fase de inducido del generador superconductor 24. Además, como se muestra, la consigna de corriente de inducido del generador superconductor 24 proporcionada por el controlador 130 se puede usar conjuntamente con las realimentaciones de tensión y corriente de inducido de CA de lado del generador superconductor 24 para producir las consignas de conmutación al rectificador de fuente de corriente 114.

[0055] Como se muestra en la FIG. 11, el controlador para el inversor de fuente de corriente 116 puede ser responsable de mantener las corrientes de enlace de CC. Más específicamente, como se muestra, la consigna de corriente de enlace de CC total proporcionada por el controlador 130 conjuntamente con las realimentaciones de corriente de enlace de CC se pueden usar para producir la consigna de componente activa de corriente de red i_{d_CMDRed} , mientras que la consigna de corriente reactiva i_{q_CMDRed} típicamente se determina para adaptarse a diversos contextos operativos (tales como el envío de potencia reactiva y el funcionamiento a baja tensión). A continuación, la consigna de corriente de red i_{dq_CMDRed} se puede usar conjuntamente con las realimentaciones de tensión y corriente alterna de lado de red para producir la consigna de modulación i_{dqCMD_CSI} para el inversor de fuente de corriente 116. La consigna de modulación i_{dqCMD_CSI} se puede ajustar además por un controlador de equilibrio de corriente continua activa para dar como resultado las consignas de modulación reales para cada inversor de fuente de corriente 116. A continuación, las consignas de modulación se pueden usar para producir las consignas de conmutación.

[0056] En referencia ahora a la FIG. 12, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 200 de funcionamiento de un sistema, tal como el sistema de potencia de turbina eólica descrito en el presente documento que incluye el generador superconductor 24, de acuerdo con la presente divulgación. En general, el procedimiento 200 descrito en el presente documento en general se aplica a operar la turbina eólica 10 descrita anteriormente. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento divulgado 200 se puede implementar usando cualquier otra turbina eólica y/o máquina superconductora adecuada, incluyendo generadores o motores. Además, la FIG. 12 representa las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis.

[0057] Como se muestra en (202), el procedimiento 200 incluye monitorizar la turbina eólica 10 para detectar fallos. Como se muestra en (204), el procedimiento 200 incluye determinar si se detecta un fallo de cortocircuito. Si es así, como se muestra en (206) y (208), el procedimiento 200 continúa activando un circuito en corto del conjunto de convertidor de fuente de corriente para proporcionar una trayectoria de corriente para la corriente desde un inductor de enlace de CC de un enlace de CC del convertidor de fuente de corriente y desactivar una pluralidad de conmutadores en el convertidor de fuente de corriente para bloquear la trayectoria de corriente entre el generador y el enlace de CC. Si no se detecta ningún fallo de cortocircuito, el procedimiento 200 continúa monitorizando para detectar fallos.

[0058] En referencia ahora a la FIG. 13, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización del controlador 130 descrito en el presente documento. Como se muestra, el controlador 130 puede incluir uno o más procesadores 134 y dispositivos de memoria asociados 136 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 130 también puede incluir un módulo de comunicaciones 138 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 130 y los diversos componentes del sistema 100. Además, el módulo de comunicaciones 138 puede incluir una interfaz de sensor 140 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 142, 144 localizados en cualquier lugar a través del sistema 100 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 134.

[0059] Se debe apreciar que los sensores 142, 144 se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 138 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, los sensores 142, 144 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 140 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 142, 144 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 140 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 134 se puede configurar para recibir una o más señales desde los sensores 142, 144. En consecuencia, dichos sensores 142, 144 pueden estar localizados en todo el sistema 100, por ejemplo, para monitorizar fallos como se describe en el presente documento.

- 5 **[0060]** Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. El procesador 138 también está configurado para calcular algoritmos de control avanzados y comunicarse con una variedad de protocolos basados en Ethernet o en serie (Modbus, OPC, CAN, etc.). Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 140 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria que incluyen, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 140 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 138, configuran el controlador 136 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.
- 10
- 15 **[0061]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica (10), que comprende:

5 una torre (12);

una góndola (16) montada encima de la torre (12);

un rotor (18) acoplado a la góndola (16), comprendiendo el rotor (18) un buje rotatorio (20) y al menos una
10 pala de rotor (22) fijada al mismo;

un generador de baja impedancia (24) acoplado al rotor (18), comprendiendo el generador (24) al menos
un conjunto de devanados de inducido, comprendiendo el al menos un conjunto de devanados de inducido
15 una pluralidad de bobinas monofásicas (108); y

un conjunto de convertidor de fuente de corriente (112) acoplado eléctricamente a un inducido del generador
(24), comprendiendo el conjunto de convertidor de fuente de corriente (112) al menos un convertidor de
fuente de corriente (113) que comprende un rectificador de fuente de corriente (114) acoplado a un inversor
de fuente de corriente (116) por medio de un enlace de CC (118) y al menos un condensador (120)
20 abarcando la pluralidad de bobinas de inducido monofásicas (108),

el al menos un condensador (120) del conjunto de convertidor de fuente de corriente (112) configurado para
absorber componentes de alta frecuencia de pulsos de corriente generados por el convertidor de fuente de
corriente (113) para minimizar el rizado de corriente en una corriente aplicada a la pluralidad de bobinas
25 monofásicas (108),

en la que el generador (24) está configurado como un generador trifásico,

en la que el conjunto de convertidor de fuente de corriente (112) comprende además una pluralidad de
convertidores de fuente de corriente (113) acoplados eléctricamente al generador de baja impedancia (24)
y a una red eléctrica (132); y

en la que, en el lado de red, se aplican patrones de conmutación intercalados a los inversores de fuente de
corriente (116).
35
2. La turbina eólica (10) de la reivindicación 1, en la que el generador de baja impedancia (24) es un generador
superconductor.
3. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el al menos un condensador
40 (120) comprende además una pluralidad de condensadores con al menos uno de la pluralidad de
condensadores a través de cada una de la pluralidad de bobinas monofásicas (108).
4. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el enlace de CC (118)
comprende al menos un inductor de enlace de CC (122), y en la que la corriente dentro del enlace de CC (118)
45 se controla por la tensión a través del al menos un inductor de enlace de CC (122).
5. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el inductor de enlace de CC
(122) es una fuente de corriente fija, comprendiendo la fuente de corriente fija una impedancia interna de 100
veces más que una impedancia de carga.
50
6. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en la que el rectificador de fuente de
corriente (114) y el inversor de fuente de corriente (116) comprenden cada uno una pluralidad de conmutadores
(124, 126).
7. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el conjunto de convertidor
de fuente de corriente (112) comprende además un circuito en corto (128).
55
8. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un
controlador (130) para controlar el funcionamiento del generador de baja impedancia (24) y el conjunto de
convertidor de fuente de corriente (112).
60
9. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, tras un evento de
cortocircuito en el conjunto de convertidor de fuente de corriente (112), el controlador está configurado para
activar el circuito en corto (128) para proporcionar una trayectoria para la corriente desde el enlace de CC (118)
y para desactivar la pluralidad de conmutadores (124, 126) en el conjunto de convertidor de fuente de corriente
65 (112), bloqueando, de este modo, la corriente entre el generador (24) y el enlace de CC (118).

10. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la pluralidad de convertidores de fuente de corriente (113) están conectados en paralelo.
- 5 11. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que cada uno de la pluralidad de convertidores de fuente de corriente (113) está configurado para procesar una porción de una potencia total de la turbina eólica (10).
- 10 12. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un mecanismo de equilibrio de potencia activa (148) configurado para garantizar que la potencia total se comparta uniformemente entre los convertidores de fuente de corriente (113).
13. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la turbina eólica (10) es una turbina eólica marina.
- 15 14. La turbina eólica (10) de cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en la que la turbina eólica (10) es una turbina eólica terrestre.

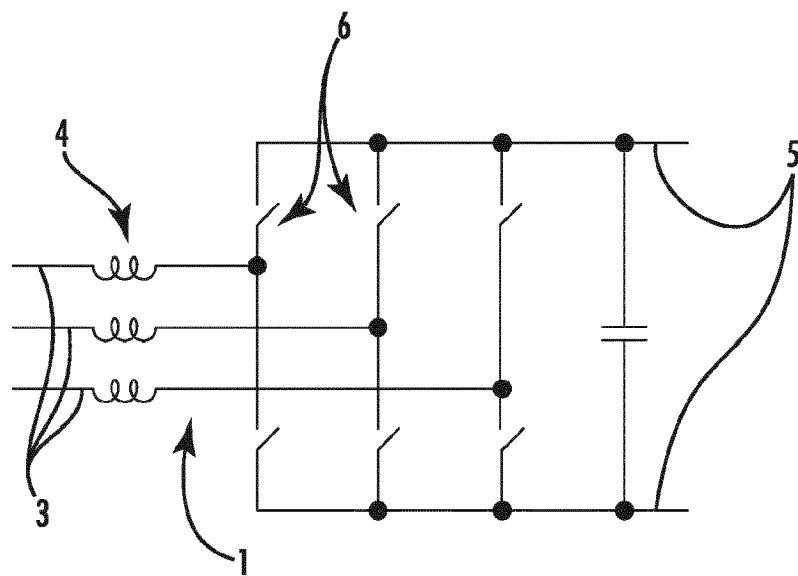


FIG. 1

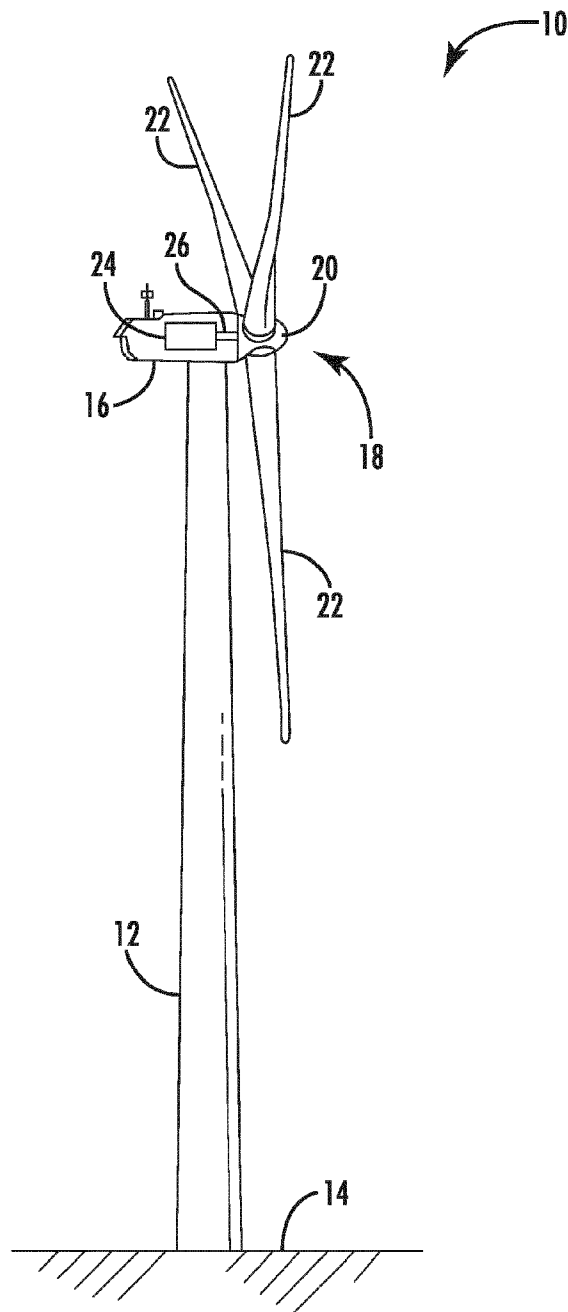


FIG 2

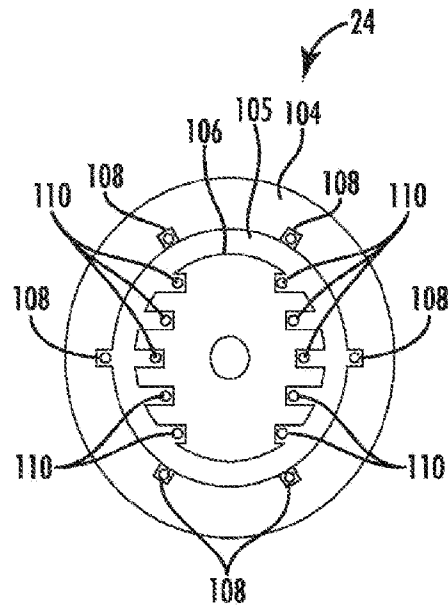


FIG. 3

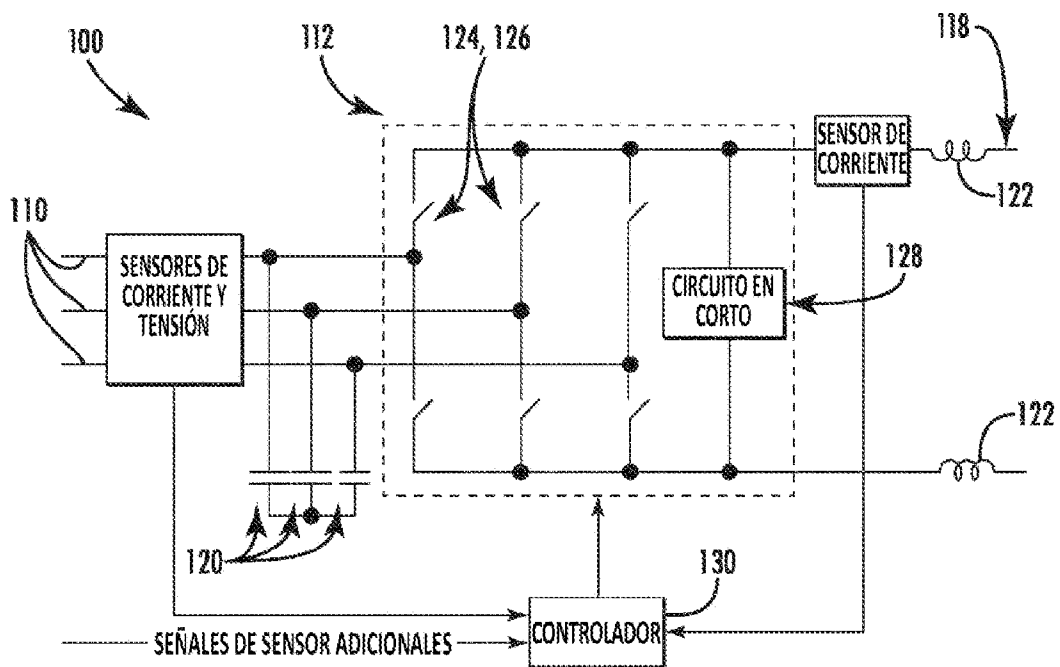


FIG. 4

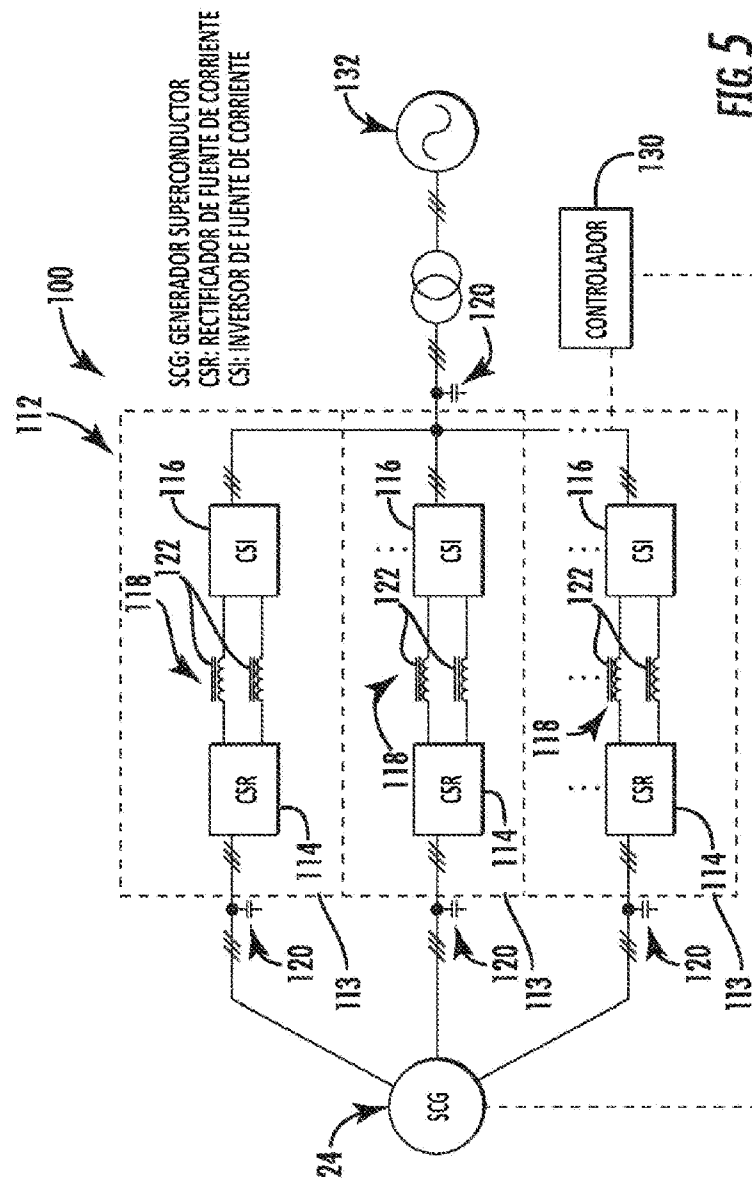


FIG 5

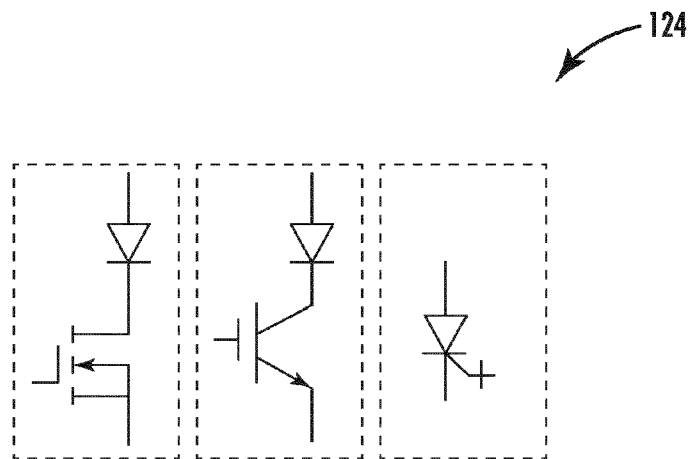


FIG. 6

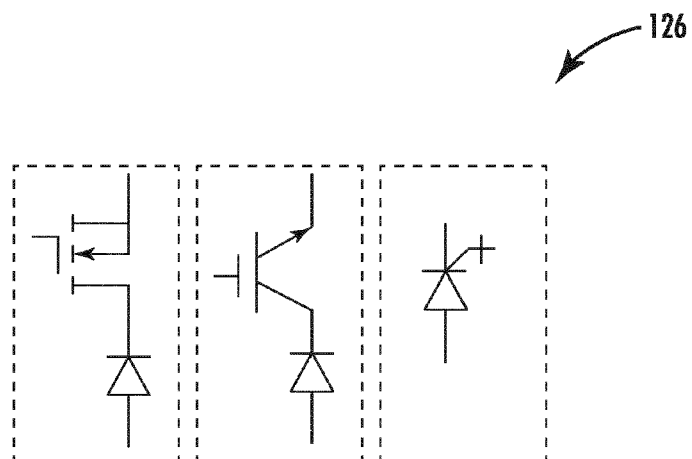


FIG. 7

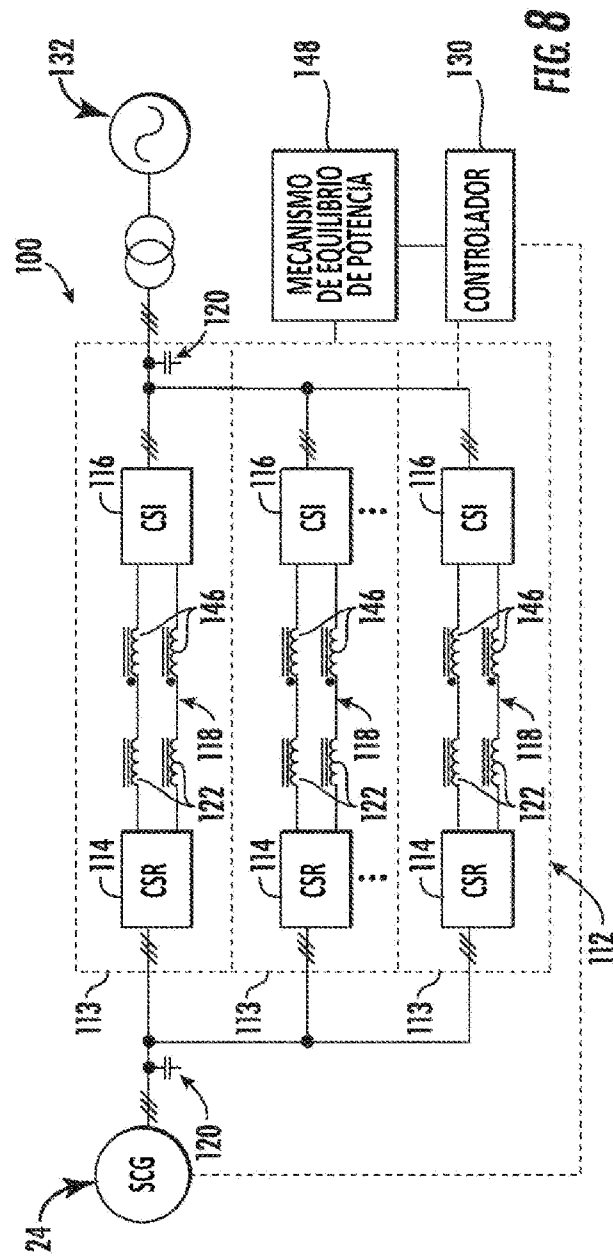


FIG. 8

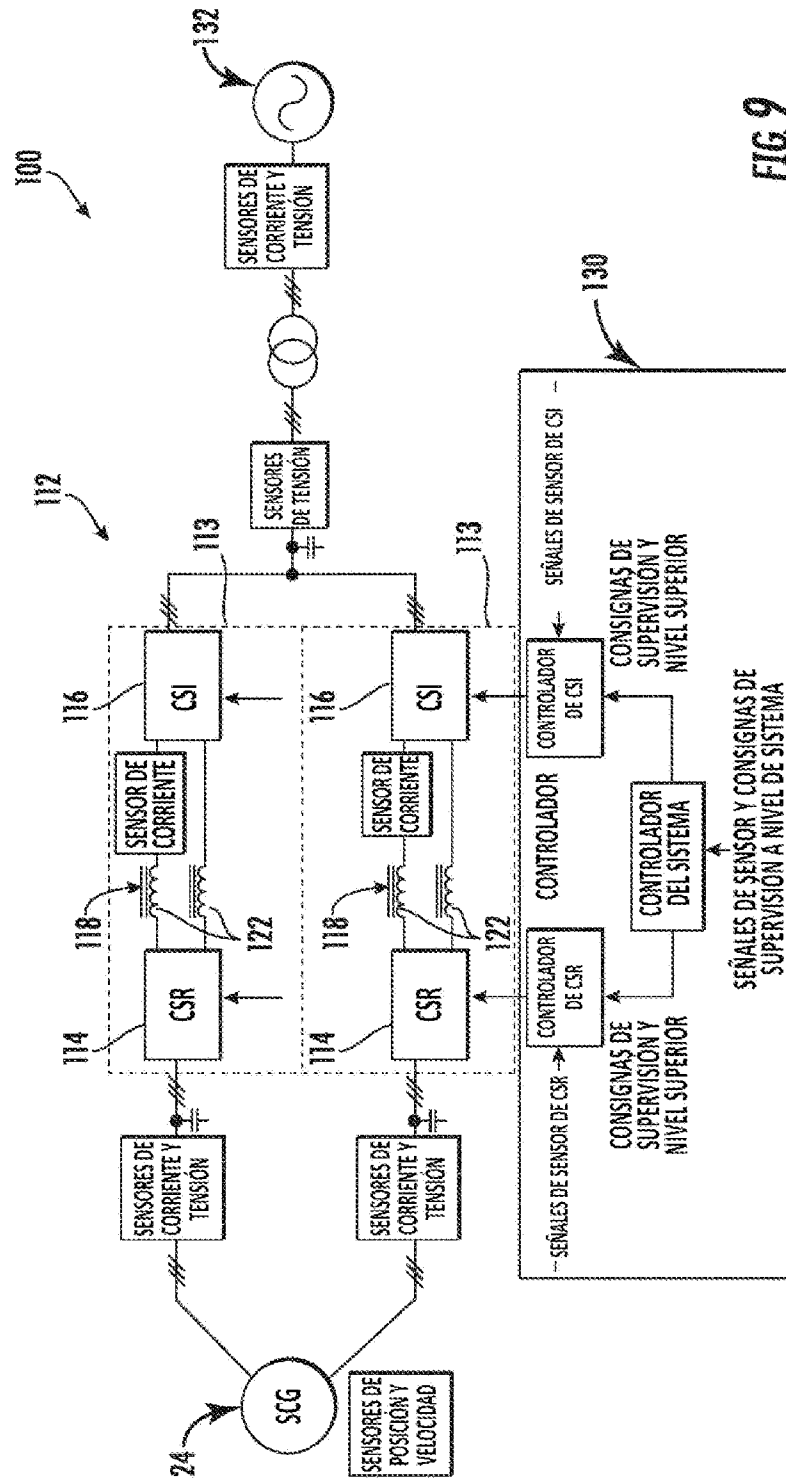


FIG 9

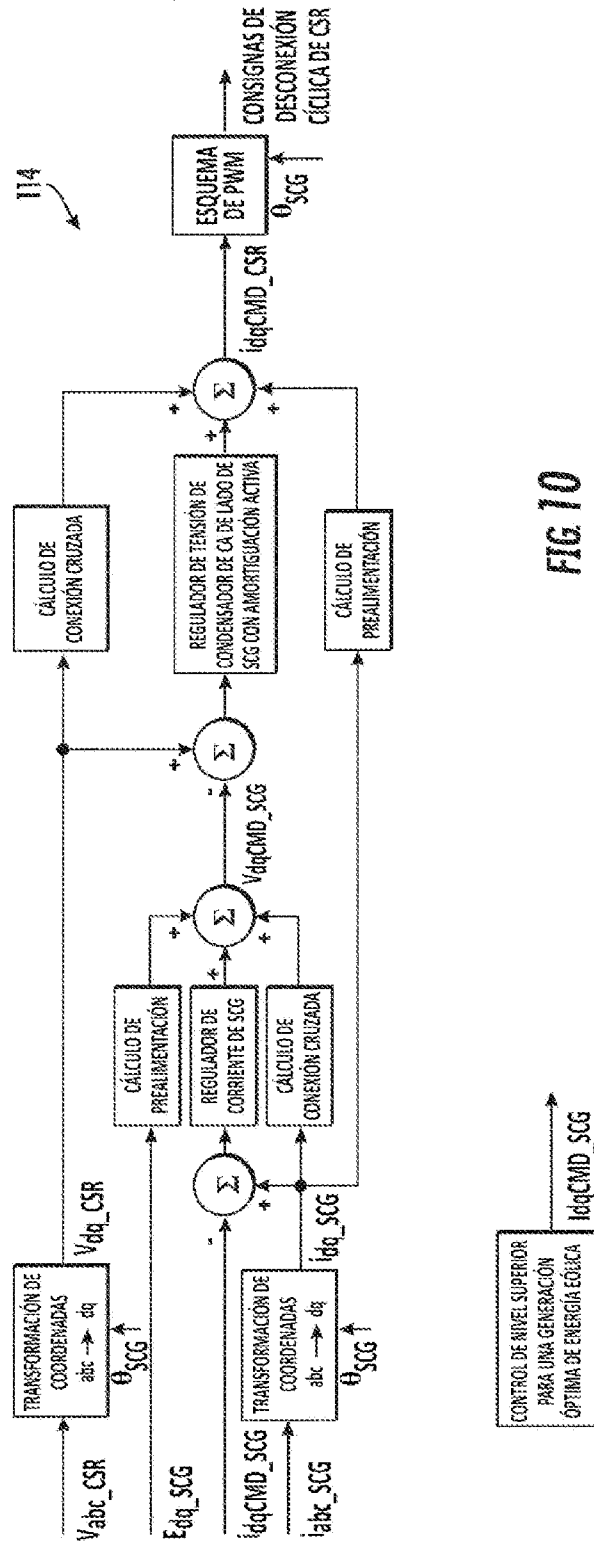


FIG 10

CONTROL DE NIVEL SUPERIOR
PARA UNA GENERACIÓN
ÓPTIMA DE ENERGÍA EÓLICA

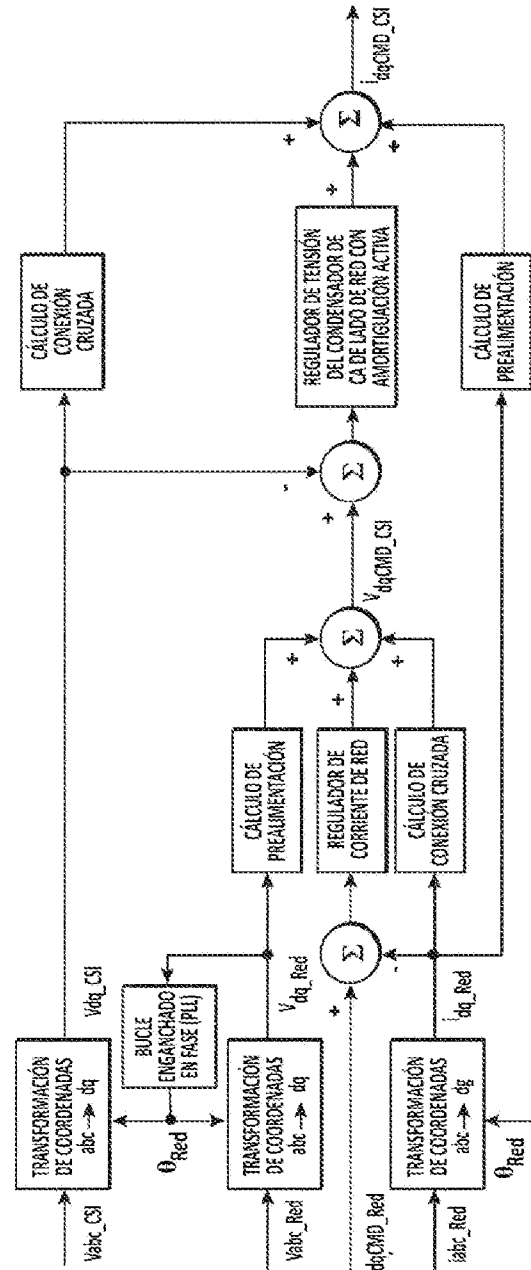
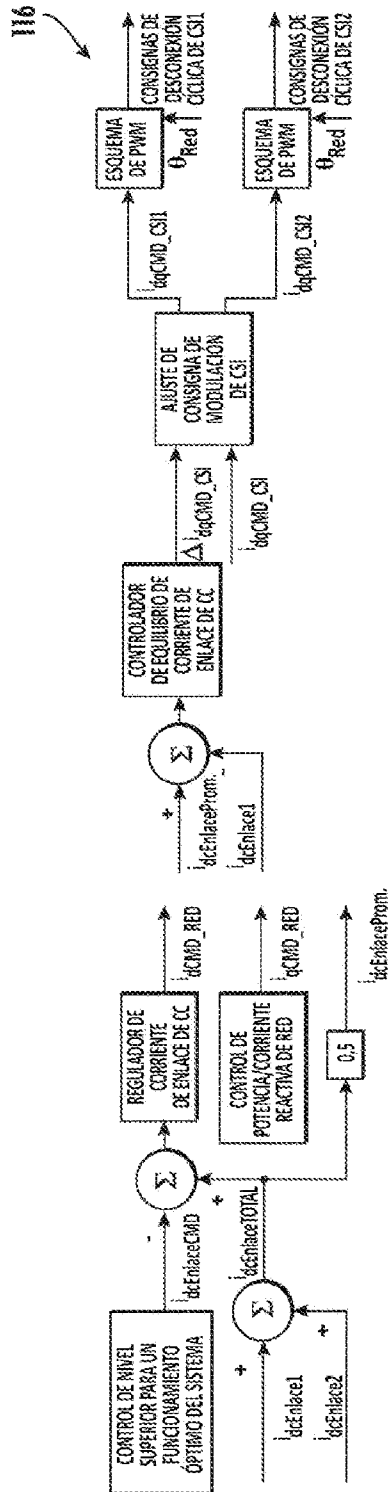
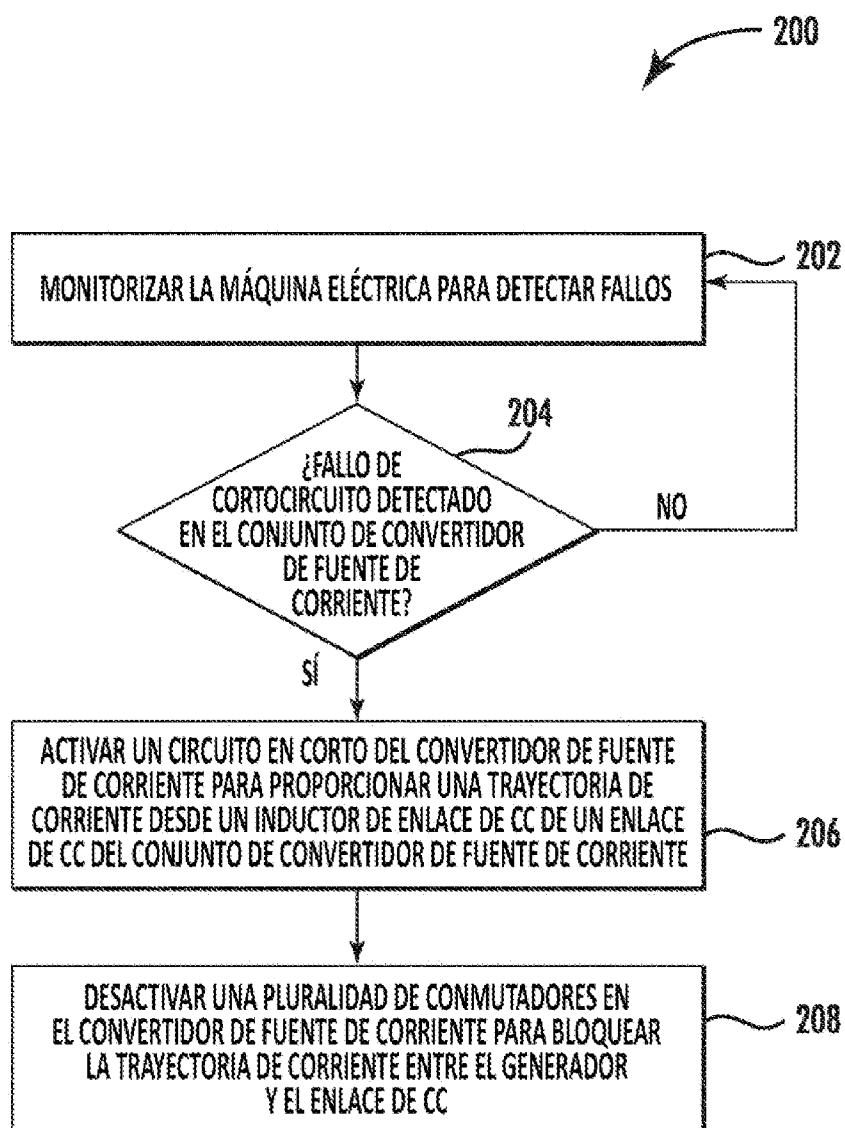


FIG. 11

**FIG. 12**

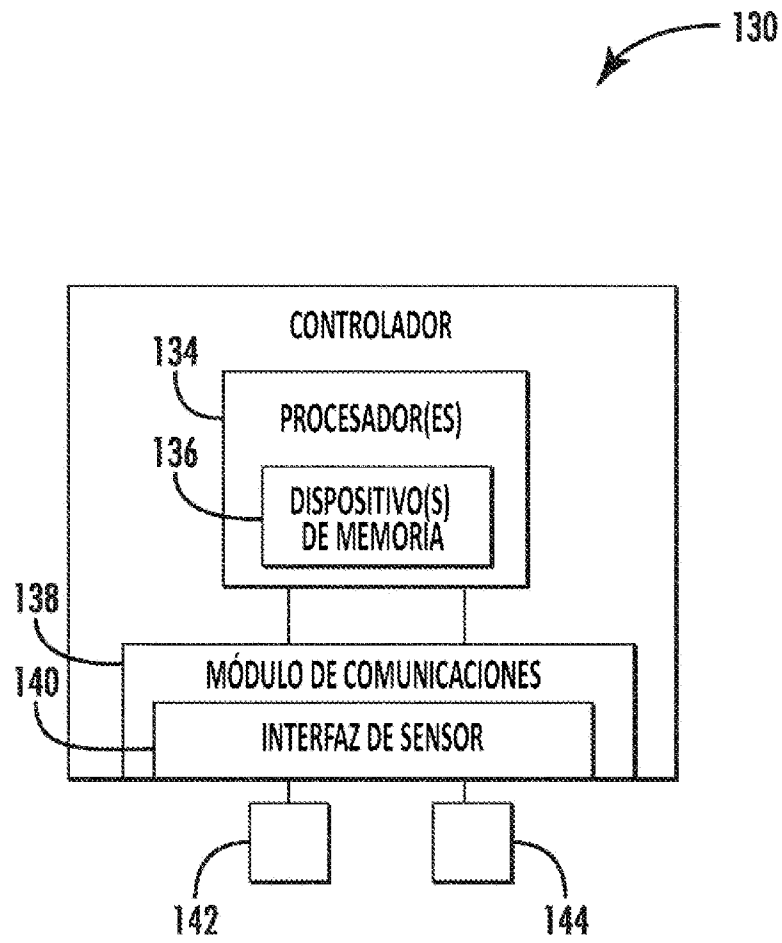


FIG. 13